

падает с прочностью бетона на растяжение с точностью до постоянно-го множителя [4].

Результаты проведенных опытов свидетельствуют о возможности производства бетона с высокими показателями выносливости при правильном выборе исходных материалов, применении рациональных технологических приемов приготовления и уплотнения бетонных смесей с последующим твердением.

1. Грушко И.М., Глушенко Н.Ф., Ильин А.Г. Структура и прочность дорожного цементного бетона. – Харьков: Изд-во при Харьк. ун-те, 1965. – 136 с.

2. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения. – М.: Стройиздат, 1982. – 196 с.

3. Соломатов В.И. Элементы общей теории композиционных строительных материалов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1980. – № 8. – С. 62-70.

4. Ламкин М.С., Пашенко В.И., Трапезников Л.П. Применение теории хрупкого разрушения к определению размеров температурных трещин в элементах бетонных конструкций // Тр. координационных совещаний по гидротехнике. – 1973. – Вып. 82. – С. 68-73.

*Получено 16.12.2002*

УДК 721.011 : 65.011.56

М.С. БАРАБАШ

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

## **ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ**

Рассматривается схема экспертной системы (ЭС), осуществляющей выбор рационального проектного решения. База знаний (БЗ), являющаяся интеллектуальной частью ЭС, управляет автоматическим процессом построения вариантов конструктивных схем. Компонента объяснения делает трассировку в обратном направлении элементов решений в БЗ, используя эвристические методы.

Предлагаются два примера процедурных знаний. Первое процедурное знание ориентировано на проектирование здания в районе повышенного колебания грунта, второе – рассматривает расстановку вертикальных несущих элементов-пилонов, колонн и диафрагм.

Характерной чертой современных проектирующих систем является стремление к автоматизации широкого круга проектных работ на основе интегрированных информационных логических моделей объекта. Модель объекта проектирования представляется в виде многокомпонентной структуры, состоящей из совокупности следующих взаимно связанных компонентов: система функциональных элементов объекта проектирования; множество систем координат; множество геометрических элементов; множество нагрузок, общие характеристики объекта, такие как район строительства, грунтовые условия; мно-

жество основных комплектов документов, представляющих объект проектирования; множество материалов и работ, необходимых для материального воплощения объекта проектирования.

Под функциональным элементом объекта проектирования понимается реально существующий или условно выделяемый элемент или часть здания или сооружения (блок-секция, ригель, стойка, объемно-планировочная ячейка, стеновая панель, расчетный узел и др.). Система функциональных элементов образует иерархическую сеть, где каждой вершине соответствует функциональный элемент, а связи отображают отношения различных типов, например: "быть составной частью"; "быть взаимно расположенными в пространстве" и др. Каждому функциональному элементу в рамках модели объекта соответствует уникальное имя – имя класса функциональных элементов (ригель, панель, каркас, сетка) и имя функционального элемента в данном классе – марка. Объект проектирования определяется как система функциональных элементов в структуре иерархической сети.

Проектирующая система состоит из пользовательского интерфейса, информационно-логической модели объекта, открытой для наполнения в процессе проектирования, а также базы знаний, которая обеспечивает решение трудно формализуемых задач.

Здесь рассматривается экспертная система (ЭС), осуществляющая выбор рационального проектного решения. Процессом проектирования управляет специалист-проектировщик, используя для этого пользовательский интерфейс. Варианты расчетных схем генерируются на основе процедурных знаний. Набор процедурных знаний является наиболее интеллектуальной частью базы знаний (БЗ). Именно эта часть управляет автоматическим процессом построения вариантов конструктивных схем. Каждое процедурное знание ориентировано на тот или иной класс задач: рамные каркасы, панельные здания, конструкции высотных зданий из монолитного железобетона. В процедурные знания входит набор варьируемых объектов – конструкции узлов на объекте, сопряжение элементов, расстановка колонн и диафрагм и т.п. Расчет конструкции по каждому из вариантов осуществляется с помощью содержащегося в базе знаний блока проектных процедур. Трудно формализуемый этап по анализу результатов и синтезу проектных решений выполняется проектировщиком на основе рекомендаций подсистемы объяснений, консультаций и выводов. Обобщенная функциональная схема ЭС представлена на рис.1.

Подсистема объяснений разъясняет пользователю действия, совершаемые системой. Она отвечает на вопросы, почему было получено некоторое заключение или почему некоторые другие альтернативы

были отброшены. С этой целью в подсистеме объяснений реализуется небольшое число стандартных планов ответов на вопросы.



Рис.1 – Функциональная схема экспертной системы

Компонента объяснения делает просмотр (трассировку) в обратном направлении элементов решений в базе знаний, начиная от того заключения, к которому относится вопрос, и направляясь к тем промежуточным гипотезам или тем данным, на которые опиралось это заключение. Каждый шаг назад соответствует выводу на основе одного правила из базы знаний. Компонента объяснений собирает вместе промежуточные выводы и переводит их на обычный язык перед выдачей пользователю.

Для ответа на вопрос "почему не ..." система прибегает к эвристическому варианту этого метода. Предположим, что не удалось выделить некоторую возможную цепочку правил, которая позволила бы достичь обсуждаемого заключения, но не была применена, поскольку условие применения одного из правил оказалось невыполненным. Рассматриваемая подсистема объясняет пользователю решение системы отказаться от некоторого возможного заключения, заявив, что такие невыполненные условия заблокировали все цепочки рассуждения, которые могут обосновать подобное заключение.

Для расширения возможностей простых трассировочных средств предусматривается возможность воспроизводства логической цепочки после того, как она уже отработала, а не простое перечисление шагов по ходу процесса вычислений.

Воспроизведение истории процесса логического вывода и последующее использование ее для объяснения поведения системы включает в себя демонстрацию одного или нескольких правил, приведших к данному заключению. Это имеет немалое значение, поскольку, анализируя объяснения, предоставленные системой, эксперт фокусирует свое внимание на основных предположениях и последующих логических шагах, составляющих решение.

Первое процедурное знание ориентировано на проектирование здания в районе повышенного колебания грунта, вызванного динамическим воздействием движения поезда метро. Расчетная схема объекта проектирования приведена на рис.2 в виде пространственно-стержневой системы. При проектировании необходимо учитывать несколько критериев, основными из которых являются:

предельно допустимая амплитуда гармонического колебания верха здания;

рациональность конструктивной схемы (расход материалов, трудоемкости возведения здания).

В результате своей работы ЭС должна выбрать оптимальную расчетную схему здания с учетом заданных критериев.

На рис.3 представлены варианты конструктивных схем с варьированием узлов присоединения ригелей, колонн, ростверков и свай. В I варианте приведена схема объекта с жестко защемленным креплением по всем узлам. В этом случае амплитуда колебаний  $\lambda_{s1}=7$  мкр. Во II варианте рассматривается шарнирное присоединение свай к ростверку. При этом  $\lambda_{s1}=6,5$  мкр. Вариант III предлагает шарнирное присоединение стоек к ростверку –  $\lambda_{s1}=5,8$  мкр и IV вариант – шарнирное присоединение ригелей к стойкам, при этом  $\lambda_{s1}=3,5$  мкр.

Второе процедурное знание представляет знание о расстановке вертикальных несущих элементов – пилонов, колонн и диафрагм. Исходными данными является сеть строительных осей, модульная сеть, толщина перекрытия –  $h$  в см, места расстановки обязательных стен и колонн, контур перекрытия, контуры отверстий, размеры колонн и толщина стен, общая высота здания  $H$  в м. К ограничениям относится выполнение следующих условий:

расстояния между вертикальными несущими элементами  
 $20h \leq l \leq 40h$ ;

несущие элементы не должны выходить за контур плиты и совмещаться с отверстиями;

длина одной диафрагмы или пилона не должна превышать 6 м;

колонны могут располагаться только в узлах модульной сети; диафрагмы могут располагаться только между узлами модульной сети и совпадать с ее осями;

общая длина  $l_s$  диафрагм в метрах вдоль буквенных осей (см. рис.4)

$$\frac{H \times L_S}{100} \geq l_s \geq \frac{H \times L_S}{150}; \quad (1)$$

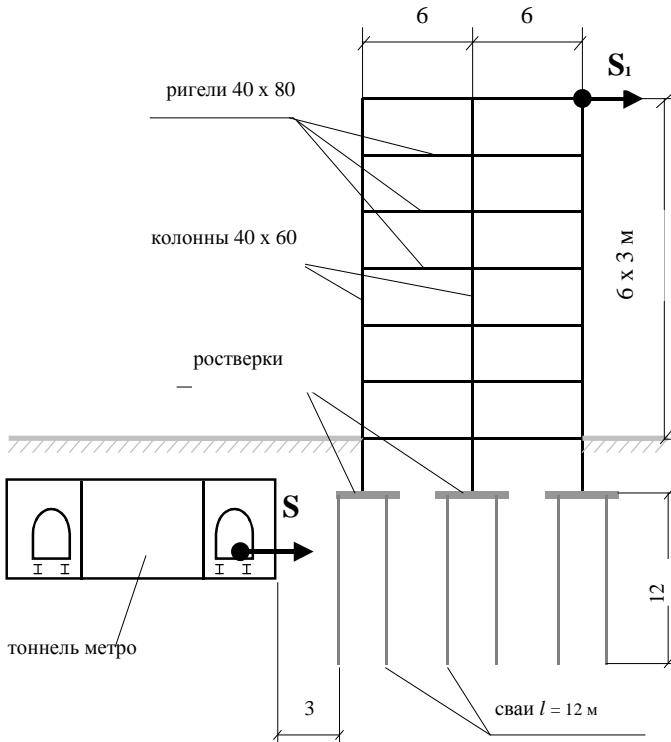


Рис.2 – Расчетная схема объекта проектирования

общая длина  $l_d$  диафрагм вдоль цифровых осей

$$\frac{H \times L_d}{100} \geq l_d \geq \frac{H \times L_d}{150} . \quad (2)$$

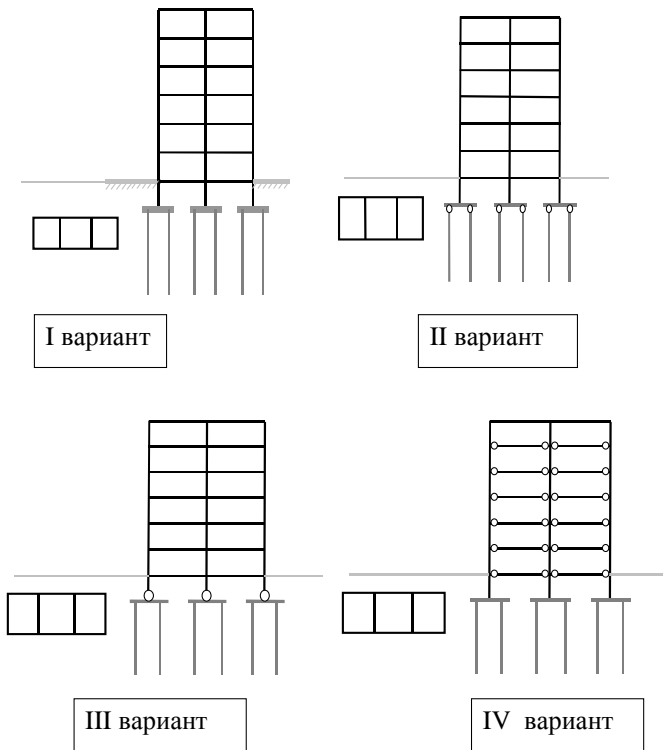


Рис.3 – Возможные варианты расчетных схем проектируемого объекта

Эмпирические зависимости (1), (2) получены на основе исследования и статистического обобщения результатов расчета конструктивных схем двадцати семи высотных зданий из монолитного железобетона.

Укрупненная схема алгоритма выполнения данной процедуры заключается в следующем. На первом этапе определяют  $l_d^{\max}$ ,  $l_d^{\min}$ ,  $l_s^{\max}$ ,  $l_s^{\min}$  на основе ограничений (1) и (2) и с учетом наличия обязательной расстановки диафрагм. Затем на основе заданных ограничений и исходных данных, производятся две пробных расстановки, соответ-

ствующие  $l_s^{\max}, l_d^{\max}$  и  $l_s^{\min}, l_d^{\min}$ . После обращения к исполнительному процессору (рис.1) определяются  $\Delta_s^{\max}, \Delta_d^{\max}$  и  $\Delta_s^{\min}, \Delta_d^{\min}$ . На основе полученных значений  $\Delta$  находят  $l_s^{opt}$  и  $l_d^{opt}$ , соответствующие нормируемым значениям  $\Delta$ . С учетом исходных данных,  $\Delta_s^{opt}, \Delta_d^{opt}$  и заданных ограничений производят множество расстановок вертикальных элементов.

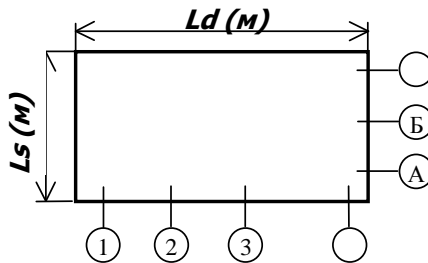


Рис.4 – Схема этажа здания по наружному обмеру с осевой разбивкой

В заключение отметим, что реализация экспертных систем по построению рациональных конструктивных схем будет особенно важной при создании новых технологий проектирования, основанных на информационно-логической модели объекта – «виртуальный объект». Тогда появится необходимость в автоматическом построении конструктивных схем только на основе архитектурных данных об объекте.

Получено 24.12.2002

УДК 624.21

В.П.КОЖУШКО, канд. техн. наук, И.Н.ЛЫСЯКОВ

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕДИНИЧНЫХ РЕАКТИВНЫХ УСИЛИЙ В ПОЛОСАХ НА ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ ПО ЭМПИРИЧЕСКИМ ФОРМУЛАМ

Приведена методика определения единичных реактивных усилий под концами полос (балок) на упругом основании, описываемом разными моделями по эмпирическим формулам, полученным с применением составленных одним из авторов таблиц единичных усилий.